

# 近 45 a 我国沙尘暴和扬沙天气 变化趋势和突变分析

丁瑞强 , 王式功 \* , 尚可政 , 杨德保 , 李建红

( 兰州大学 大气科学系 , 甘肃 兰州 730000 )

**摘要 :**利用 1954—1998 年我国 334 个站每月沙尘暴和扬沙发生日数资料 , 通过线性趋势估计和多项式函数拟合等方法分析了沙尘暴和扬沙日数的长期趋势变化和周期变化 , 发现沙尘暴和扬沙日数的总体趋势是下降的 , 沙尘暴和扬沙年平均日数都是在 20 世纪 50 年代最高 ,60 年代减少 , 之后 70 年代又有回升的趋势 , 到 80 年代又减少 ,90 年代最少。沙尘暴日数的变化存在着 6.7 a 的周期及 2.59 a 和 3.38 a 的周期 , 并且 2.59 a 和 3.38 a 的周期都通过了  $\alpha = 0.1$  的显著性检验。扬沙不存在显著性周期。由于资料长度的限制 , 无法对 22 a 以上的长周期进行分析。利用滑动  $t$  检验法和气候跃变参数  $J_y$  分析了沙尘暴和扬沙日数的突变问题 , 发现沙尘暴和扬沙日数从 80 年代到 90 年代的变化率最高 , 沙尘暴和扬沙分别在 1985 年和 1984 年发生了由多到少的突变。我国北方强沙尘暴的发生次数从 50 年代到 90 年代呈上升趋势 , 从而使沙尘天气对我国的影响不但没有减弱反而有增强的趋势。近年来 , 大范围的强沙尘暴天气出现的频率增加、程度增强、范围扩大 , 因此保护生态环境 , 防止土地荒漠化 , 是我们目前面临的紧迫任务。

**关键词 :**沙尘暴 ; 扬沙 ; 滑动  $t$  检验 ; 突变 ; 强沙尘暴

中图分类号 :P445.4

文献标识码 :A

由于沙尘天气所引发的气候学效应 , 对人类生存环境的危害以及对经济、社会活动的影响 , 使我们越来越认识到沙尘天气是不可忽视的大气和生态环境问题之一。为了更好地预报和预防沙尘天气 , 减少沙尘天气的危害 , 就需要对沙尘天气变化趋势进行分析。许多学者对我国沙尘天气变化趋势已做了大量的工作 , 王式功 <sup>[1]</sup> 通过对我国北方几个沙尘暴多发区的统计分析 , 指出就整个北方地区而言 ,20 世纪 50 年代沙尘暴发生日数最多 ,60 年代初期又略有降低 ,60 年代末略有增加 ,80 年代又呈下降趋势。最近 , 周自江 <sup>[2]</sup> 利用 681 个站点的详细资料 , 以点面结合的方式 , 分析了中国北方地区近 45 a 沙尘暴和扬沙天气的趋势 , 指出近 45 a 来我国大部分地区的沙尘暴和扬沙日数在减少 , 只有小部分地区呈增长趋势。

以前对我国沙尘天气变化趋势的研究 , 大多局限于以各站沙尘天气资料简单平均为基础的统计分析上 , 忽略了相邻各测站的相关联系。另外在我国

沙尘多发地区测站都比较少 , 且分布不均匀 , 这给统计结果造成很大误差。本文从相邻地理区域内沙尘暴和扬沙日数距平分布特征的相关性出发 , 通过线性趋势估计和多项式函数拟合等方法分析了沙尘暴和扬沙日数的长期趋势变化和周期变化 ; 又利用滑动  $t$  检验法和气候跃变参数  $J_y$  分析了沙尘暴和扬沙日数的突变问题 ; 目的是为了搞清我国沙尘天气的发展趋势 , 为防灾、减灾提供帮助。

## 1 资料和方法

### 1.1 沙尘暴和扬沙变化的周期分析

本文主要以沙尘暴和扬沙的发生日数作为定量指标。利用国内 334 个站点 1954—1998 年各站沙尘暴和扬沙月发生日数资料 , 其中沙尘天气发生比较多的 35°N 以北及青藏高原地区的站点有 153 个 , 其余站点沙尘天气发生较少 , 对我国沙尘天气趋势的分析影响不大。通过算术平均法建立近 45 a 沙尘

收稿日期 2001-10-23 ; 改回日期 2001-12-18

基金项目 国家重点基础研究发展规划项目( G2000048703 ) , 国家自然科学基金“九五”重大项目( 39990490 )资助

作者简介 丁瑞强( 1977— ), 男 , 山东安丘人 , 硕士。主要从事西北干旱气候和医疗气象方面的研究工作。 E-mail : dlyq3478@163.com

\* 通讯联系人。

暴、扬沙年发生日数距平序列  $y_t$  ( $t = 1, 2, \dots, 45$ ) , 把序列看成由以下 3 部分组成<sup>[3]</sup> 即 :

$$y_t = f_t + p_t + s_t \quad (1)$$

其中  $f_t$  为沙尘暴(扬沙)趋势分量;  $p_t$  为周期分量;  $s_t$  为随机变量。由于随机变化相对前两项是一个小量, 因此可不作单独分析。首先通过线性趋势估计沙尘暴(扬沙)的趋势变化, 再采用多项式拟合原序列  $y_t$ , 分析沙尘暴(扬沙)的变化趋势, 最后对余序列  $\hat{y}_t = y_t - t - f_t$  进行周期分析。

## 1.2 突变分析方法

按照两个序列样本平均值之差是否显著的  $t$  检验计算公式, 当两个子序列样本单元数目  $n_1 \neq n_2$  时, 统计量为<sup>[4]</sup>:

$$t = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) [n_1 \cdot n_2 (n_1 + n_2 - 2)]^{1/2} / (n_1 - 1) \cdot [s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot s_2^2]^{1/2} \cdot (n_1 + n_2)^{-1/2} \quad (2)$$

其中  $\bar{x}_1, \bar{x}_2$  和  $s_1, s_2$  分别代表两个子序列样本的平均值和均方差的无偏估计值。且规定  $n_2 = N - n_1 + 1$  其中  $N$  为序列样本总数。由于天气变化过程中相邻气候阶段时间尺度至少在 10 a 以上, 所以取  $n_1 = 10, 11, \dots, (N - 10)$  进行循环计算出统计量  $t(n_1)$ , 取其中的最大绝对值进行统计量

表 1 我国沙尘暴、扬沙日数线性和 5 阶多项式趋势函数及其拟合结果与原序列之间的相关系数

Tab. 1 Linear and polynomial fitting functions for sand storm and sand-blowing days as well as correlative coefficients between calculating and original series

	线性回归方程 $\hat{y}_1(t) = -2.40 - 0.10t$	$t(y_1(t), \hat{y}_1(t))$ 0.352 <sup>**</sup>	五阶多项式函数 $\hat{y}_5(t) = 4.637 - 0.818t + 0.0547t^2 - 0.00142t^3 + 0.000009t^4 + 0.00000006t^5$	$t(y_1(t), \hat{y}_5)$ 0.640 <sup>***</sup>	$t(y_1(t), \hat{y}_1)$ 0.821 <sup>***</sup>
沙尘暴	$\hat{y}_1(t) = 7.22 - 0.31t$	0.296 <sup>*</sup>	$\hat{y}_5(t) = 14.89 - 3.770t + 0.329t^2 - 0.0107t^3 + 0.0001t^4 - 0.0000006t^5$	0.586 <sup>***</sup>	0.912 <sup>***</sup>
扬沙					

\* 通过  $\alpha = 0.10$  的显著性检验; \*\* 通过  $\alpha = 0.05$  的显著性检验; \*\*\* 通过  $\alpha = 0.01$  的显著性检验。

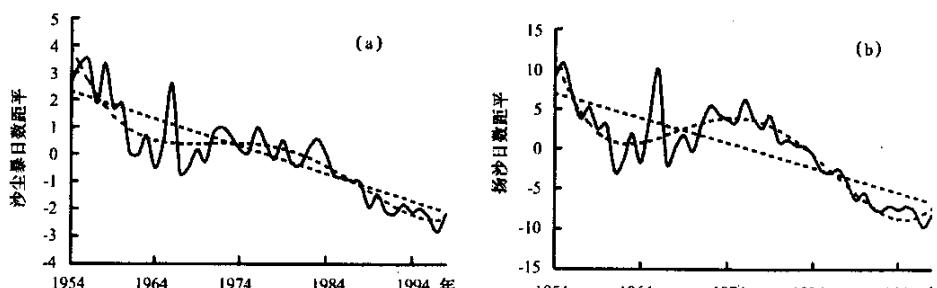


图 1 1954—1998 年我国沙尘暴与扬沙年发生日数距平年际变化

Fig. 1 Yearly variation of sandstorm and sand-blowing days' anomaly from 1954 to 1998 in China  
图中实线为沙尘暴(扬沙)年发生日数距平, 虚直线为线性趋势, 虚曲线为多项式拟合

由线性趋势(图 1 虚直线)可以看出 45 a 沙尘暴和扬沙发生日数总体呈下降趋势(沙尘暴为  $0.1 \text{ d}^{-1}$  , 扬沙为  $0.31 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$  )。沙尘暴和扬沙的 5 阶多项式  $\hat{y}_5(t)$  与原序列  $y_t$  之间的相关显著性水平都通

显著性检验, 若有:

$$t_{\max} = \max\{ |t(n_1)|, n_1 = 10, 11, \dots, (N - 10) \} \geq t_{\alpha=0.01} \quad (3)$$

则可判断该序列中有突变发生。

再应用文献[5]定义的气候跃变参数  $J_y$ , 来验证滑动  $t$  检验得出的结论。气候跃变参数  $J_y$  的表达式为

$$J_y = |M_1 - M_2| / (S_1 + S_2) \quad (4)$$

其中:下标  $y$  表示气候要素序列中某个时刻, 这里为某年;  $M_1, M_2, S_1, S_2$  分别为  $y$  年前  $N$  年、后  $N$  年两个子序列的平均值和均方差。当  $J_y > 1$ , 表明序列在  $y$  年附近出现跃变,  $J_y > 2$  表明出现强跃变。

## 2 沙尘暴、扬沙日数的趋势变化

首先, 建立  $y_1(t)$  与  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, 45$ ) 之间线性回归方程:

$$\hat{y}_1(t) = a + bt \quad (5)$$

式中:  $a$  为回归常数;  $b$  为回归系数, 当  $b > 0$  (或  $b < 0$ ) 时, 表示沙尘暴及扬沙的发生有上升(或下降)趋势。类似地  $\hat{y}_5(t)$  为 5 阶多项式趋势函数。表 1 给出线性和 5 阶多项式趋势函数及其拟合结果与原序列之间的相关系数。

过了 $\alpha = 0.01$  的显著性检验。沙尘暴和扬沙的拟合线(图1虚曲线)的趋势基本相同,只是扬沙的变化幅度比较大。沙尘暴和扬沙都是从1954年始呈下降趋势,到1964年又有小幅度的上升,在70年代末又呈下降趋势,扬沙在1997年开始又呈上升趋势,但依然是负距平。这个结论与文献[1][2]指出的近45 a 我国沙尘暴和扬沙日数在50年代最多,之后呈下降趋势相一致。

去掉长期趋势后的沙尘暴(扬沙)余序列 $\hat{y}_t$  的变化与原序列 $y_t$  的变化趋势十分一致,两者的相关

系数达到0.821(沙尘暴)和0.912(扬沙)。以下采用功率谱方法分析余序列的周期,由于 $N=45$ 本文取最大后延相关长度 $M=22$ 来计算各滞后相关函数 $r(\tau), \tau=1, 2, \dots, M$ 。由相关函数,利用功率谱计算公式,得到谱图(图2)。我们看到沙尘暴日数(图2中a)存在着6.7 a 的周期及2.59 a 和3.38 a 的周期,并且2.59 a 和3.38 a 的周期都通过了 $\alpha=0.1$ 的显著性检验。扬沙(2中b)不存在显著性周期。由于资料长度的限制,对22 a以上的长周期无法进行分析。

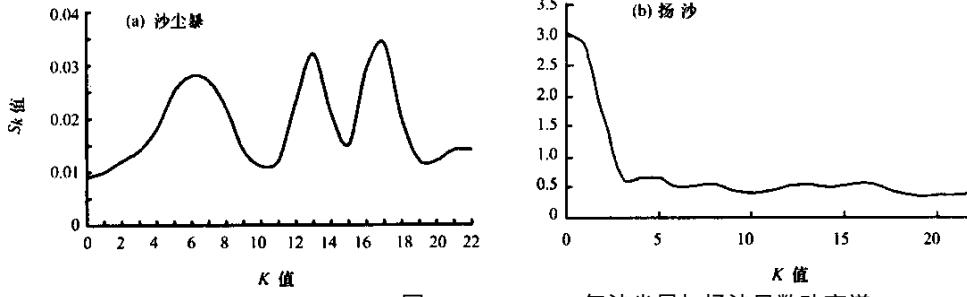


图2 1954—1998年沙尘暴与扬沙日数功率谱

Fig. 2 Power chart of sandstorm and sand-blowing days from 1954 to 1998

### 3 沙尘暴、扬沙日数的年代际变化

利用1954—1998年我国沙尘暴和扬沙日数距平序列,采用滑动 $t$ 检验分别对应得到1963—1988年的沙尘暴和扬沙日数距平的 $t$ 检验值(表2)。在本文取 $N=10$ ,对1954—1998年沙尘暴(扬沙)日数利用公式(4)进行计算,对应可得到1964—1988年沙尘暴(扬沙)的跃变参数 $J_y$ 值。

表2 1963—1988年我国沙尘暴(扬沙)日数第二时段  
减去第一时段样本平均值的 $t$ 检验值

Tab.2  $t$ -test values of sample moving averages  
for 10 years of sandstorm and sand-blowing

days from 1963 to 1988

年份	$N_1$	沙尘暴	扬沙	年份	$N_1$	沙尘暴	扬沙
1963	10	5.419	2.801	1976	23	5.629	5.048
1964	11	5.034	2.613	1977	24	5.963	5.721
1965	12	4.910	2.702	1978	25	6.052	6.216
1966	13	5.302	3.158	1979	26	6.148	6.706
1967	14	5.449	3.344	1980	27	6.306	7.369
1968	15	5.069	3.233	1981	28	6.238	7.701
1969	16	4.933	3.257	1982	29	6.290	8.097
1970	17	4.789	3.236	1983	30	6.610	8.461
1971	18	4.832	3.315	1984	31	7.066	8.794
1972	19	5.081	3.597	1985	32	7.172	8.793
1973	20	5.335	3.982	1986	33	6.999	8.528
1974	21	5.451	4.319	1987	34	6.811	8.336
1975	22	5.467	4.641	1988	35	6.608	8.081

表2为1963—1988年我国沙尘暴(扬沙)日数第二时段减去第一时段样本平均值的 $t$ 检验值。由表2可见,沙尘暴日数 $t$ 检验中,最大的 $t$ 值出现在1985年,并达到了0.01的显著性水平。1985年沙尘暴的跃变参数 $J_y$ 值达到了2.02,可见我国沙尘暴由多到少的跃变年为1985年。扬沙最大的 $t$ 值出现在1984年,也超过了0.01的显著性水平,其跃变参数 $J_y$ 值为2.09,在1984年扬沙发生了由多到少的跃变。通过上面的分析我们可以认为,在80年代中期,我国的沙尘天气发生了突变,由相对偏多进入相对偏少期。

为了比较近45 a 来沙尘暴和扬沙日数不同年代的差异,表3给出了沙尘暴和扬沙年平均日数的年代际变化。从表3可以看出,沙尘暴和扬沙年平均日数都是在50年代最高,60年代减少,之后70年代又有回升的趋势,到80年代又减少,90年代最少。其中从80年代到90年代的变化率最大,且为负值,这与上面分析的在80年代中期沙尘暴和扬沙日数出现了由多到少的突变是相一致的。

### 4 讨论

我国自50年代到90年代(截至1998年),沙尘天气发生日数总的趋势是减少的,但其间也有起伏,如70年代沙尘天气发生日数又略有增加,个别地区

和站点的趋势与总的趋势相反,自50年代到90年

代沙尘天气发生日数呈上升趋势<sup>[2]</sup>。2000年和

表3 沙尘暴和扬沙年平均日数的年代际变化及相对变率

Tab.3 Decadal change of sandstorm and sand-blowing days and their relative variability

项目	50年代		60年代		70年代		80年代		90年代		平均
	年平均	年平均	相对变	年平均	相对变	年平均	相对变	年平均	相对变	年平均	相对变
	日数/d	日数/d	率/%	日数/d	率/%	日数/d	率/%	日数/d	率/%	日数/d	率/%
沙尘暴	6.27	3.86	-38.4	4.07	5.4	3.00	-26.3	1.48	-50.7	3.74	-27.5
扬沙	15.72	13.78	-23.6	17.64	17.5	11.37	-32.4	6.78	-43.6	13.06	-15.1

2001年沙尘天气发生日数又突然增加,是不是一个沙尘多发性周期的到来,目前还不清楚。我国北方地区强和特强沙尘暴的发生频数自50年代以来一直在增加<sup>[6]</sup>,50年代每年为0.5次,60年代每年为0.8次,70年代每年为1.3次,80年代每年为1.4次,90年代每年为2.3次,2000年则为12次。沙尘天气发生日数的减少和强与特强沙尘暴的发生频数的增加根源何在?现在仍没有一个明确的答案,还有待于进一步的研究。根据现有的成果<sup>[2,7]</sup>,沙尘天气发生日数减少的原因就整体而言,可能由于近45 a来,北方广大地区冬季变暖,冬夏温差变小,以寒潮大风方式形成的风沙活动的天气日数(如大风、扬沙等天气现象)总体上呈现减小的趋势。中国科学院地学部对中国华北地区沙尘天气的成因分析中指出,近40 a来,气象站的观测纪录表明,中国北方春季大风日数的增减与沙尘日数的增减是一致的<sup>[7]</sup>。

强和特强沙尘暴发生频数增加的原因,一方面与20世纪以来异常天气状况频繁出现、全球气候变化有一定联系,根据对气候资料的研究发现,灾害性天气有周期变短、频率加快的趋势。另一方面,强和特强沙尘暴的发生频数的增加可能与观测资料前疏后密,观测资料的精度有所提高有关。还有一个重要的方面就是,人类对土地的开垦所导致的沙漠化增加了沙尘暴的灾害强度是完全可以肯定的。迄今为止沙漠化土地不仅面积广大,而且发展速率仍在加快。60~70年代为 $1560 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ ,80年代为 $2100 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ ,90年代达到 $2460 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ <sup>[8]</sup>。沙尘暴发生的频次与同期我国沙漠化土地扩展的步伐是一致的。因此保护生态环境、防治土地的荒漠化对于减少沙尘暴的发生及危害是十分必要的。

## 5 结论

变化的统计规律,可以有以下几点看法:

(1)沙尘暴和扬沙日数的总体趋势是下降的。沙尘暴日数的变化存在着6.7 a的周期及2.59 a和3.38 a的周期,并且2.59 a和3.38 a的周期都通过了 $\alpha = 0.1$ 的显著性检验。扬沙不存在显著性周期。由于资料长度的限制,无法对22 a以上的长周期进行分析。

(2)沙尘暴和扬沙年平均日数都是在50年代最高,60年代减少,之后70年代又有回升的趋势,到80年代又减少,90年代最少。其中沙尘暴和扬沙日数从80年代到90年代的变化率最高,并分别在1985年和1984年发生了突变。

(3)我国北方地区强和特强沙尘暴的发生频数从50年代到90年代呈上升趋势,并且频率加快、间隔变短、强度增大是今后沙尘暴发展的趋势。保护生态环境,防止土地荒漠化,是我们目前面临的紧迫任务。

## 参考文献(References):

- [1] 王式功,董光荣,杨德保,等.中国北方地区沙尘暴变化趋势初探[J].自然灾害学报,1996,15(2):86~94.
- [2] 周自江.近45年中国扬沙和沙尘暴天气[J].第四纪研究,2001,21(1):9~17.
- [3] 丁裕国,江志红.气象数据时间序列信号处理[M].北京:气象出版社,1998.26~32.
- [4] 符宗斌,王强.气候突变的定义和检测方法[J].大气科学,1992,16(4):482~493.
- [5] 严中伟,季劲钩,叶笃正.60年代北半球夏季气候跃变—I.降水和温度变化[J].中国科学(B辑),1990,20(1):97~103.
- [6] 史培军,严平,袁艺.中国北方风沙活动的驱动力分析[J].第四纪研究,2001,21(1):42~47.
- [7] 中国科学院地质部.关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J].地球科学进展,2000,15(4):361~364.
- [8] CCICCD. China Country Paper to Combat Desertification[M]. Beijing: China Forestry Publishing House,1996.18~31.

通过以上分析,对我国沙尘暴和扬沙日数多年

## Analyses of Sandstorm and Sand-blowing Weather Trend and Jump in China in Recent 45 Years

DING Rui-qiang , WANG Shi-gong , SHANG Ke-zheng , YANG De-bao , LI Jian-hong

( Department of Atmospheric Science , Lanzhou University , Lanzhou 730000 , China )

**Abstract :** Based on the meteorological date from 334 stations in China during 1954—1998 , the temporal and spatial variation characteristics of sandstorm and sand-blowing weather are studied. The results are as follows ( 1 ) sandstorm and sand-blowing weather had an obviously inter-annual change in recent 45 years. In total , the days of sandstorm and sand-blowing weather decreased with time in China. Both the minimum of the number of the days and the maximum of the relatively variational rate emerged in 1990's . ( 2 ) In the past 45 years , sandstorm had the oscillation period of 2 ~ 3 years. An obvious jump of the days of sandstorm and sand-blowing weather respectively occurred in 1985 and 1984 . ( 3 ) There was an increasing trend of frequency of strong sandstorm from 1950's to 1990's , so the harm of sandstorm and sand-blowing weather to our society also became seriously. It is very necessary to protect environment and control desertification for decreasing the days and degree of sandstorm and sand-blowing weather.

**Key words :** sandstorm ; blowing-sand ; *t*-test ; trend

廿

廿

廿

廿

廿



1. 由中国科学院寒区旱区环境与工程研究所董光荣研究员等研究集体撰写的《中国沙漠形成演化 气候变化与沙漠化研究》一书 已由《中国沙漠》编辑部编辑 海洋出版社 2002 年 9 月份正式出版发行。该研究成果 1998 年荣获中国科学院自然科学一等奖。本书共收集 91 篇论文 ,110 万字 软精装 定价 95 元(含邮费 )。

2. 由中国科学院寒区旱区环境与工程研究所樊胜岳研究员 程国栋院士等编著的《西北地区发展战略与对策研究》一书 ,已由《中国沙漠》编辑部编辑 海洋出版社 2003 年 1 月正式出版发行。该书为中国科学院可持续发展研究中心第四期特别支持项目成果 约 45 万字 定价 45 元(含邮费 )。

3. 由中国科学院寒区旱区环境与工程研究所赵哈林研究员等编译的《雪生态学》[ 加 ]H.G.JONES 等著 )一书 ,已由《中国沙漠》编辑部编辑 海洋出版社 2003 年 3 月正式出版发行。该书是第一部将物理、化学和生物学科的冰雪研究归一到雪生态系统的多学科综述性专著。全书 40 万字 精装本 定价 50 元(含邮费 )。

4. 由河西学院金自学副教授等编著的《生态经济农业导论》一书 ,已由《中国沙漠》编辑部编辑 ,海洋出版社 2003 年 3 月正式出版发行。本书内容主要包括生态经济农业系统论及其生态规律与经济规律、能流与物流分析、平衡与调控原理、效益评估与优化、人口 - 资源 - 环境 - 能源问题 ,水生态经济问题等。全书近 25 万字 ,大 32 开本 ,定价 25 元(含邮费 )。

欲购以上书者请与《中国沙漠》编辑部联系

地址 :兰州市东岗西路 260 号《中国沙漠》 > 编辑部

邮编 :730000 ;联系电话 :0931-4967253